

粉粒体モデルによる密集状態シミュレーション

佐原, 亨
東京大学大学院工学系研究科

西成, 活裕
東京大学先端科学技術研究センター | 独立行政法人科学技術振興機構さきがけ

<https://doi.org/10.15017/18714>

出版情報：応用力学研究所研究集会報告. 21ME-S7 (24), 2010-03. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：

応用力学研究所研究集会報告 No.21ME-S7

「非線形波動研究の現状と将来 — 次の10年への展望」 (研究代表者 矢嶋 徹)

共催 九州大学グローバル COE プログラム

「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」

Reports of RIAM Symposium No.21ME-S7

*Current and Future Research on Nonlinear Waves —
Perspectives for the Next Decade*

Proceedings of a symposium held at Chikushi Campus, Kyushu University,
Kasuga, Fukuoka, Japan, November 19 - 21, 2009

Co-organized by

Kyushu University Global COE Program

Education and Research Hub for Mathematics - for - Industry

Article No. 24 (pp. 162-165)

粉粒体モデルによる 密集状態シミュレーション

佐原 亨 (SAHARA Toru), 西成 活裕 (NISHINARI
Katsuhiko)

(Received January 29, 2010)



Research Institute for Applied Mechanics
Kyushu University
March, 2010

粉粒体モデルによる密集状態シミュレーション

Simulation of Outflow in Crowd Condition by Vibrated Granular Material

東京大学大学院工学系研究科 佐原 亨(SAHARA Toru)
東京大学先端科学技術研究センター 西成活裕(NISHINARI Katsuhiko)
(独) 科学技術振興機構さきがけ

1. 背景

これまで液体や気体などの流体を解析する手法として Navier-Stokes 方程式や Euler 方程式などを用いて解析を行ってきた。宇宙空間での希薄気体をはじめとする離散流体の場合は Boltzmann 方程式によって記述される。

一方、粉粒体のように多体衝突や回転、変形を繰り返す粒子群や自己の意思を持って動く人の動きなどは運動方程式が立てられず、大胆な近似やモデル化を行って解析を行う。

本研究の目的は人が退出するために出口に殺到する極度の密集状態を想定し、早く退出するための方法を提案することである。極度の混雑により人が自由に動くことができないため、箱の中の粒子の動きでモデル化している。

たとえば混雑するイベント会場、映画館などにおいて、緊急時に早く避難できるような構造を造ることは安全管理上大きなメリットがあるといえる。

2. 粉粒体

粉粒体とは多数の粒の集まりである。山のよりに積み重ねたり、容器に沿って流れたりという基本的な性質に加え、別種のものが分離する偏析や、狭い出口に詰まる目詰まりといったさまざまな性質を持つ。

今回取り扱う振動条件下での粉粒体の流量

に関する考察としては、 g_{eff} を加振の振幅、振動数から求まる実効重力加速度として

$$W \propto \rho_b g_{eff}^{1/2} D_h^{5/2}$$

という式が知られている。

3. 実験

3.1 概要

出口に殺到する群衆の様子を再現するために、浅いろうとをたてに半分に切ったような形状の器を作成した。器には別部品の出口を取り付けて実験を行う。互いに重ならないようにしながら粒子を敷き詰めると器についている傾斜に沿って粒子が重力で下に流れ、最下部に取り付けた出口部分から流出する仕組みになっている。単純に器に粒子を乗せただけでは目詰まりを起こすため、器ごと加振装置に取り付け、全体を振動させた。今回は出口へ向かうさまざまな状態を考察するため、加振周波数、出口の大きさ、器の深さをそれぞれ数パターン用意した。

3.2 実験条件

4mm 径のアルミナ粒子を 100 粒ほど器に入れ、条件を変えながら振動を加えた。

周波数、出口の大きさ、傾斜の大きさは基本

として以下のように設定して実験を行った。

周波数：20Hz、50Hz、100Hz
出口径：12mm、16mm、20mm、24mm
器の傾斜：3deg、7deg、11deg、14deg

また、詳細な解析のためにいくつか条件を変えて追加実験を行った。

周波数：125Hz、150Hz
出口径：12mm
器の傾斜：7deg

出口付近に棒状の障害物を置いて以下の条件で追加実験を行った。

周波数：50Hz、100Hz
出口径：16mm
器の傾斜：7deg

3.3 解析

実験の解析は粒子の挙動を撮影することで行った。

実験装置全体を真上から高速カメラで撮影し、動画に粒子追跡ソフトを用いて時刻ごとの座標を取得した。

取得した座標から、今回は流量[num/sec]およびそれを出口径で除した流動係数[num/sec・mm]を算出した。

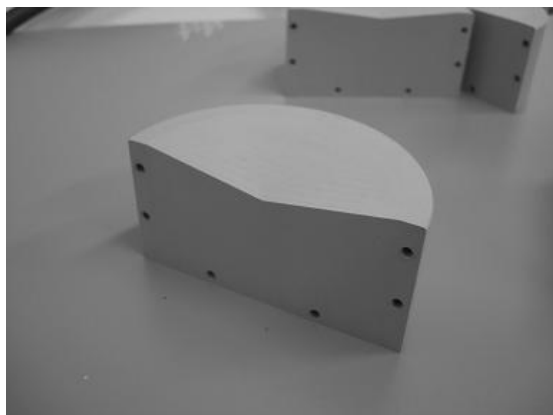


Fig3.1 器の写真



Fig3.2 加振装置



Fig3.3 高速カメラによる撮影

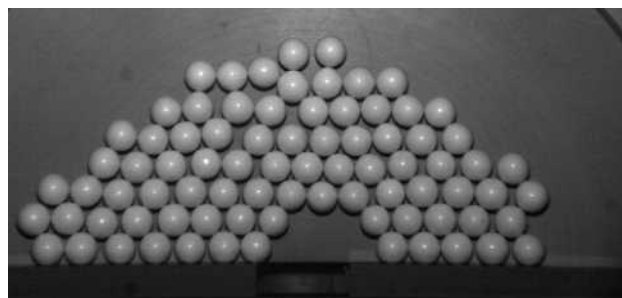


Fig 3.4 アーチ

3.4 結果

流出の様子としては以下のような現象が観察された。

粒子は互いに衝突を繰り返しながら出口から流出した。複数の粒子で出口を覆うようにアーチを作り、短い時間流出がとまって目詰まりする現象が見られた。これは出口径や振動の周波数が小さいほど発生しやすく、振動数の増加に従い、粒子がより滑らかに流れ出る様子が見られた。

また、粒子は出口のある壁に沿って溜まりやすく、出口から遠い壁付近の粒子が壁近くの粒子を回りこむようにして出口近くへ向かう様子がたびたび観察された。

流動係数と出口径について、Fig3.5 のように出口径の増大に従って流動係数が増加する傾向が見られた。出口径が大きくなると流動係数の伸びは鈍くなっていることから、流動係数の伸びは目詰まりの起こりにくさに起因しているものと考えられる。

また、Fig3.6 のように、傾斜の大きさが増すにつれ流動係数が増大する様子が見て取れる。ただし、出口が 12mm のものは目詰まりが起こりやすく、傾斜と流動係数との相関がほぼなくなっている。傾斜と目詰まりの関係はこれだけでは判断できず、さらなる解析が必要である。

振動数と流動係数についてさらに調べるために振動数を 125Hz と 150Hz に変えた追加実験とともに Fig3.7 にまとめた。この条件では流動係数のピークが 50Hz 付近に見られることがわかる。これは出力が一定の条件下では振動数の増加に伴い振幅が小さくなり、加振による目詰まり解消の効果が少なくなっているためと考えられる。

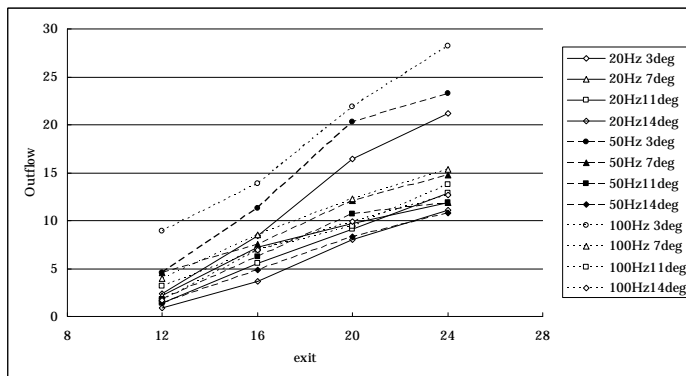


Fig3.5 出口径と流動係数

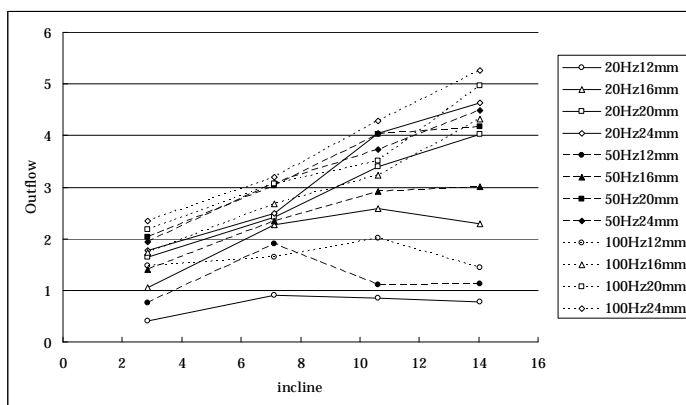


Fig 3.6 傾斜と流動係数

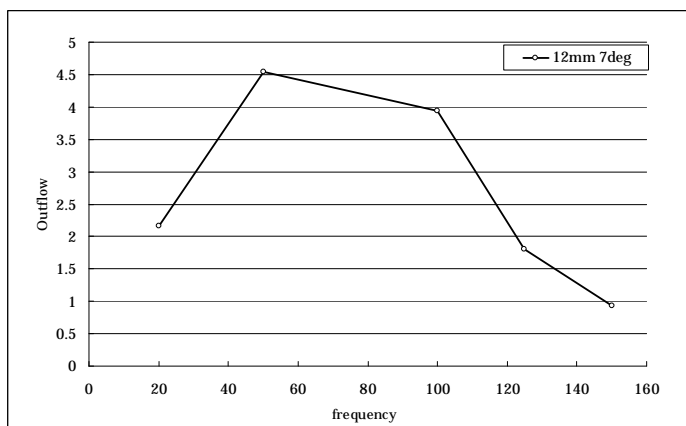


Fig 3.7 振動数と流動係数

人間による出口からの退出実験では障害物を置くことによる流量増加が観察されるが、このモデルでも同じ現象が現れるか確かめるために追加実験を行い、結果を Fig3.8 にまとめた。出口径は 16mm、傾斜は 7deg である。

結果として障害物の設置により流動係数は半減し、人間による実験とは異なる結果となった。これは障害物がアーチを破壊する効果よりも、障害物を起点にアーチを生成する効果のほうが大きかったためと考えられる。

障害物	50Hz	100Hz
なし	2.3	2.9
あり	1.3	1.5

Fig3.8 障害物と流動係数

4. まとめと今後

流量と流動係数が出口径、傾斜の大きさ、振動の周波数に従って増大する様子が観察された。しかし、必ずしも単純に増大しているわけではなく、これらの間にある関係性をモデルを立てて考察してゆく必要がある。

また、取得した座標データから得られるデータとしては、流れ場、振動の位相ごとの流量などがあげられる。これらを得ることによりさらなる考察ができるものと思われる。

障害物による流動係数の変化の実験は、アーチを破壊する効果の大きな障害物の設置の仕方を検討することが今後の課題である。

[参考文献]

- [1] 粉体工学会 「粉体シミュレーション入門」
- [2] J.Duran Sables,poudres et grains, Eyrolles Sciences 1999
- [3] C.R.Wassgren Effect of vertical vibration on hopper flows of granular material, Physics in Fluids pp.3439-3448 2002
- [4] Two-dimentional granular flow in a vibrated small-angle funnel, K.Lindemann and P.Dimon, Physical Review E, pp.5420-5431, 2000